



Photo Kironori Kirano

Index

迎春のごあいさつ.....	山口 和彦	1
長崎大学・川内村復興推進拠点の 避難指示解除後の活動について	福島 芳子	2
液体シンチレータ・フレキシブル 放射線検出器の開発の勧め	野村 貴美	8
[泉涓涓として...] 原子力艦事始め（その3）	青山 伸	13
ガンマ・キャッチャーを用いた 医療用サイクロトン放射化領域の可視化の試み	赤平 秀昭・佐々木泰輔・松尾 国弘・淀野 啓	14
[サービス部門からのお願い] ガラスバッジを使用しなかったのに報告書が送られてきた?!		19

迎春の

ごあいさつ



株式会社 **千代田テクノル**

代表取締役社長 山口 和彦

新年あけましておめでとうございます。

読者の皆様におかれましてはお健やかに新しい年を迎えられましたこととお慶び申し上げます。

弊社は、本年6月に創立60周年を迎えます。

そして、本誌FBNewsは1965年4月に創刊して以来、本年の8月号で創刊500号となります。このように長きに亘り、続けてこられましたのは、日頃よりモニタリングサービスをはじめ、弊社の製商品等をご利用いただいております皆様のおかげと心より感謝申し上げます。

本年は創立60周年および創刊500号を迎えると云う大きな節目の年となります。

ここで改めて、企業理念「放射線の安全利用技術を基礎に人と地球の“安心”を創造する」を社員一同肝に銘じ、皆様の放射線安全管理のベストパートナーとなれますよう最適でご満足いただけるサービスおよび製商品の提供に努めて参ります。

本誌FBNewsもこれまで以上に紙面の充実を図り、お役に立つ情報をご提供させていただきます。

今年一年が皆様にとって佳き年になりますことをご祈念申し上げます。

今後ともご支援とご愛顧を賜りますよう、何卒よろしくお願い申し上げます。

代表取締役会長	細田 敏和	取 締 役	井上 任
常 務 取 締 役	安川 弘則	取 締 役	小山 重成
常 務 取 締 役	今井 盟	取 締 役	赤座 太郎
取 締 役	福田 達也	監 査 役	本圖 和夫
取 締 役	馬場 一郎		

長崎大学・川内村復興推進拠点の 避難指示解除後の活動について



福島 芳子*

1. はじめに

東日本大震災及び福島第一原子力発電所事故（以下、東電福島第一原発事故という。）の発災から6年余り経過した。福島県双葉郡川内村は、日本の原風景を残す、キノコや山菜を食す里山文化の残る地であったが、福島第一原子力発電所から約12～30km圏内に位置し、事故当初に全村避難を余儀なくされた。その後、いち早く2012年1月31日に、「戻れる人から戻りましょう!」と帰村宣言を行い、同年3月には行政機能を川内村に戻し、除染の推進、商店の再開や道路等のインフラの整備、医療

介護の充実、雇用確保のための企業誘致、教育環境の充実、農林畜産業の再開等の多くの課題に対して積極的な施策を進めてきた。2016年6月には、東電福島第一原発事故後に川内村に出されていた避難指示が全て解除された（図1）。解除がイコール帰還ではなく、解除によってようやくその地域に自由に入れることができ、住環境の整備のための業者も自由に作業立ち入りをし、帰村に向けてのインフラや住環境整備が本格的に開始できるのである。2017年10月1日現在、村内生活者は2,200人（921世帯）であり、震災前の約81.2%と復興の歩みを進めている。一方で子どもがいる若い世帯

等は、放射線の健康影響に関する懸念もあり利便性の良い避難先に定着しつつあり、また、2017年3月末で借上げ住宅・仮設住宅の無償提供が終了したことで帰村した高齢者が多いことから、人口減少と併せ超少子高齢化が急激に進み、65歳以上の高齢化率は約38.7%と本来25年から30年先の推定であった超高齢社会を一気に迎えた（図2）。

長崎大学は、2011年12月から川内村の復興に向けた取り組みを支援している。具体的には帰村に先立って土壌中の放射性物質の測定を通じた住民の被ばく線量



図1 川内村の避難指示解除状況（経済産業省資料より）

* Yoshiko FUKUSHIMA 長崎大学医学部保健学科 看護学専攻 助教

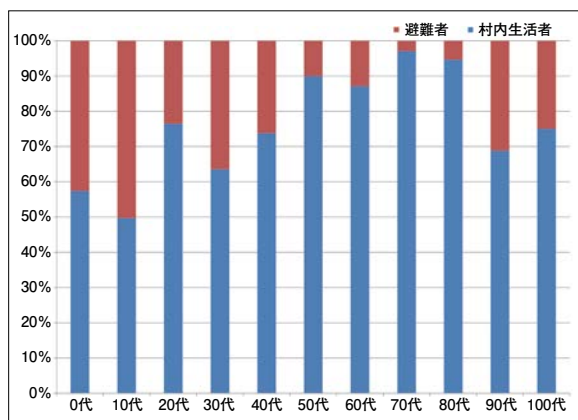


図2 村内生活者の年代別割合 (平成29年10月1日現在)

の推定を行い、帰村が科学的に見ても妥当であることを示す等、帰村や復興に向けた村の取り組みを専門的な立場から支援してきた。このような流れを受け、長崎大学と福島県川内村は2013年4月20日、川内村の復興と活性化に向けた包括連携に関する協定を締結し、村内に「長崎大学・川内村復興推進拠点」を開設した(図3)。拠点には博士課程の大学院生の保健師が常駐し、村役場と密接に連携しながら、住民の安全・安心のため土壌や食品等の放射性物質測定や個人線量測定データを基にしたきめの細かい健康相談を行い、放射線の健康影響に関するリスク・コミュニケーションに取り組んできた。また保健学科の教員と連携し、震災後の長期避難による体力の低下等にも目を配り、地域リハビリ等を通じた健康増進活動の支援も実施してきた。

このような拠点を活用した長崎大学と川内村の連携は、原子力災害からの復興・創生という大きな課題に対して中長期的に取り組む



1. 土壌等の放射性物質測定を通じた、環境放射能の評価
2. 食品・飲料水等の放射性物質測定を通じた、個人線量評価
3. 放射線の健康影響に関する健康相談
4. 保健医療福祉活動等を通じた住民の健康増進

図3 川内村の復興と活性化に向けた包括連携に関する協定

必要があることから、村民や行政の実情に応じた支援活動を現在も継続している。

「集中復興期間」の5年が終わり、2016年度からは新たなステージとしての「復興・創生期間」となった。今回、同時期に川内村の拠点担当者として着任した筆者の取り組み事例を紹介したい。

2. 土壌等の放射性物質測定と環境放射線の測定

川内村では2020年のオリンピック迄に川内村で収穫するブドウでワインを生産することを目標に、2017年春から醸造用ブドウ栽培に取り組んでいる。ワイン生産は最終目的ではなく、ワインを核とした地域づくり、関連産業集積、人材交流を進め、川内村を含めた周辺地域と「ふくしまワインベルト」を形成し、持続可能な地域振興を目指している。

村内外から多くのボランティアが参加し、2016年は、のべ250名が約2,100本、8種類のブドウ苗の植樹を行い、2017年は、総計三百数十名が約8,000本、3種類の国際品種ブドウ苗を定植した(図4)。

2017年の植樹のため約2.3haの圃場を追加開墾する際、「周囲は森林であり、土地は除染をしていないが大丈夫か」という懸念の声が聞こえてきた。ボランティアには大学生もいるため、「安心して参加していただくためには」と関係者と共考し、開墾前に圃場予定地の土壌の放射能や空間線量率の測定を実施することとした。東電福島第一原発事故後には、複数の専門家から示される数値の相違や見解の違い等のために、住民の不信感を高めることが生じたこともある。そこで、今回は2016年より福島県三春町に研究センターを開設し、既に



図4 川内村大平ヴィンヤード

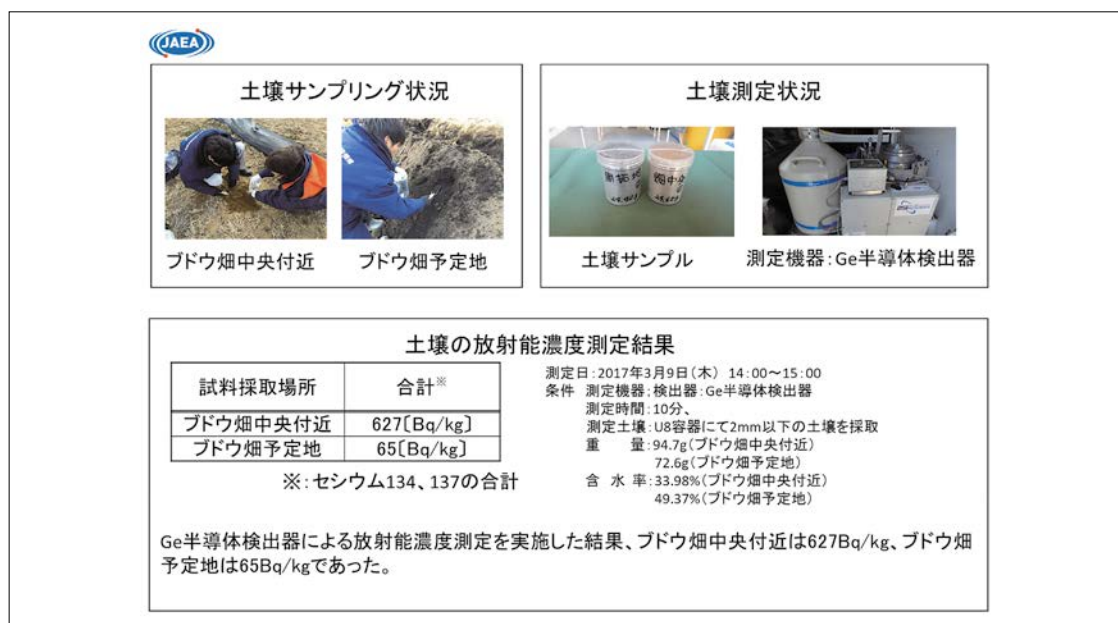


図5 ブドウ畑に係る土壌の放射能濃度測定(JAEA福島環境安全センターの協力による測定)



図6 ブドウ畑に係る空間線量率調査結果(地上高さ1m)
(JAEA福島環境安全センターの協力による測定)

住民の被ばく線量に関するデータ等を提供している専門家であるJAEA福島環境安全センターの職員と共に、計画立案・測定を行った。サンプリングは圃場関係者のいる場で実施し、測定・データ分析は専門スタッフの多いJAEA福島環境安全センターへ依頼した。

Ge半導体検出器による放射能濃度測定を実施した結果、ブドウ畑中央付近は627Bq/kg、ブドウ畑予定地は65Bq/kgであった(図5)。可搬型平面ガンマ線分布計測装置(ガンマブ

ロッターH)¹⁾にて空間線量率を測定した結果、高さ1mの平均値はブドウ畑では0.167μSv/h、ブドウ畑追加開墾予定地は0.127μSv/hであった。また、高さ1mでの最大値は、ブドウ畑では0.296μSv/h、ブドウ畑追加開墾予定地では0.316μSv/hであった(図6)。相対的に空間線量率が高い値を示した点はブドウ畑の東側端に集中していることから、周囲の森林等の影響であると推測された。村役場や圃場関係者に、それらの情報と併せて、東電福島第一原発事故以前にも土壌において数百Bq/kg程度の放射性Cs(Cs-137)が観測されていたことや農

地土壌中の放射性セシウムの果実類への移行に関する情報も提供し説明を行った。実際の数値情報を示し目の前の土地についての状況を具体的に説明した結果、関係者間での圃場の放射線量に関する共通認識がされ、追加開墾が円滑に進められた。さらに、今後の圃場周辺におけるワイナリー建設予定やボランティアや見学者来村時の森林地域の放射線量に関する不安の軽減のために、測定結果を基に圃場周囲の除染の実施が議論され行われることとなった。

3. 村外への移動経路による個人被ばく線量評価

川内村教育委員会から、児童生徒の安全・安心の確保のため、川内村から南相馬市や広野町への学校行事等の車移動時に通行する経路の相違に伴う「個人被ばく線量」を把握し、今後の教育活動の資料にしたいと依頼があった。

川内村内には高校はなく、村立小学校と中学校が各1校で、現在の全校生徒数はそれぞれ45名と17名、保育園も1校25名で、震災前に比べ約39.4%である。徐々に、ごくわずかではあるが年々その人数は増加している。そのような状況を維持・向上させるため、教育委員会では、教育環境の整備と共に放射線が日常にあることも意識した対応が求められる状況におかれている。そこで2017年度は教育者や保護者を含めた関係者で共考する材料となるよう、今年度のデータ測定を実施した上で、これまで長崎大学が毎年蓄積してきたデータの経時的変化を示し提供した(図7)。その後、保育園からは保護者への配布資料にしたいとの申し出があった。その際、一方的な情報提供のみにならないよう、保護者からの個別の問い合わせについては筆者が直接対応可能と

し、双方向的なコミュニケーションがとれる体制構築を図った。

4. 個人被ばく線量把握による放射線の健康影響に関する健康相談

森林総合研究所の研究者は、川内村で山菜・キノコ採りの活動が東電福島第一原発事故後にいかに変化したかを定量化するアンケート調査を実施しており²⁾、同時に産業技術総合研究所の研究者はその活動の際の個人被ばく線量を、時間別の線量データが取得できる線量計「D-シャトル」とGPSを用い個人の行動記録を組み合わせて調査を行っている³⁾。そこで住民の不安や懸念を把握し、それに対応する基礎資料を得るため、それらの研究者と協働した活動を行っている。具体的には、①事前に調査票や調査方法の協議、②調査開始時に適切にできるよう説明の補助、③結果の確認とその説明時の住民の理解度・納得度及び今後の対応、について適宜、住民宅への訪問に同行する等で実施している(図8)。

住民の方々は研究への期待も大きく、結果伝達時の理解も良好である。一方で、健康影響への懸念は一度には払しょくされないため

経路	本年度調査結果 (平成29年3月測定)			昨年度結果 (平成28年4月測定)		一昨年度結果 (平成27年3月測定)	
	走行距離	推定被ばく線量 (μSv)	所要(測定) 時間	推定被ばく線量 (μSv)	所要(測定) 時間	推定被ばく線量 (μSv)	所要(測定) 時間
①	57km	0.21	1時間08分	0.21	1時間04分	0.33	1時間07分
②	104km	0.27	2時間27分	0.29	2時間14分	0.37	2時間09分
③	41km	0.09	47分	0.12	45分	0.23	1時間21分(いわき・川内)
④	63km	0.10	1時間40分	0.11	1時間25分	0.11	1時間03分(いわき・川内)

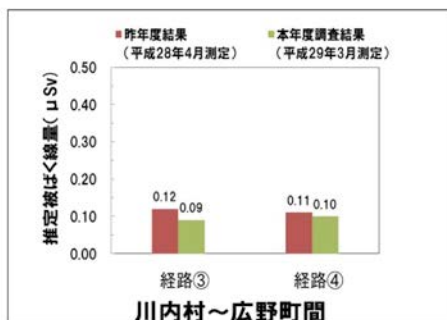
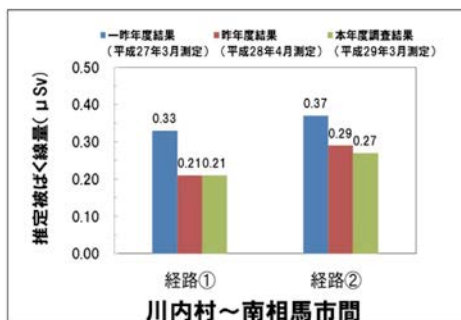


図7 移動経路別の被ばく線量の年度調査結果の推移



図8 個人被ばく線量把握による放射線の健康影響に関する健康相談

経時的なデータの取得が望まれる。また、避難指示解除後の帰村者で、周囲の森林に立ち入る方の中には不安のある方もいる。村民に研究参加者として参加していただくことは、自身の状況を把握していただくことのみならず、川内村以外の地域の方々の結果と比較することも可能となり、放射線と向き合いながら日常生活を送る上での様々な判断の一助となる。

震災後、被災地には多くの研究者が訪れ、各々の手法で測定を実施し結果が公表されてきた。しかし、複数の研究者から一人の住民に提示される数値は単純比較できないことも多く、ましてや統計処理された結果についての理解やそれらが健康影響にどう関係するのか等、住民自らの判断をするためのデータとして活用いただくことは非常に困難である。従って、被災地で研究する研究者が協働し、「なぜそれが必要なのか」、「住民の負担を考慮し解決するためにどのような手法が最も効果的か」ということをお互いに問いながら、目の前の住民と冷静にかつ客観的に向き合い、問題の現状把握やその住民が目指すべきゴールの設定、効果的介入方法と評価を考え実施することが必要な時期となっている。

5. 野生キノコの放射性物質の測定と評価

川内村の住民は事故以前は山菜やキノコ、家庭で作った野菜等を食べていたが、野生のキノコ類は未だ出荷制限がされている。村内には現在4ヶ所の食品放射能簡易検査場が設けられ、そのうち1ヶ所に非破壊放射能測定器が設置されており、野生キノコ類の測定に多く活用されている。測定結果は毎月とりまとめられ、広

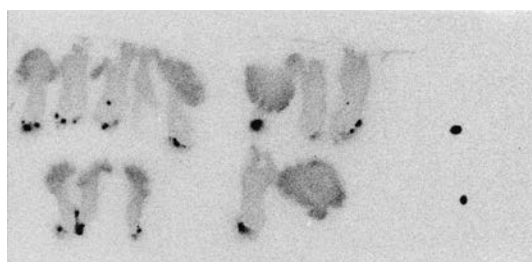


図9 野生キノコのイメージングプレートでの計測例

報誌の別添資料として各家庭に届けられている。また集会所や役場でも入手可能となっているため、村民は村全体における測定結果を目にし、「野生のキノコは種類や場所によってなぜ放射能が違うのか」との疑問を持っている。その背景には、「野生のキノコを安心して食べたい」という思いがある。そこで、食品中の放射性物質検査結果サイト⁴⁾の運営を行っている国立保健医療科学院の研究者と共に住民と共考し、住民の望むデータを取得することとした。具体的には、キノコの部位差による放射能を可視化する（イメージングプレートでの計測）（図9）、地域独自の調理をした上で食品中の放射性物質の量を評価する等、リスク・コミュニケーションの際の基礎資料となるよう実践的なわかりやすいデータの取得・表記を検討している。

6. 交流人口の拡大

川内村では、村の将来ビジョンを検討するために「かわうちかえる会議」を立ち上げ、2017年6月12日報告書が取りまとめられた⁵⁾。その中で、「震災以降に福島大学や長崎大学等の高等教育機関との交流も拡大し、村外との多様なつながりが生まれつつある。」と紹介され、「風評被害対策も実際に訪れてもらうのが一番」との意見があった。

福島大学では、2014年度から地域への理解を深め問題解決の糸口を探る授業である「むらの大学」のフィールドワークで川内村を訪れている。その際に、講師として「長崎大学・川内村復興推進拠点」における取り組みの概要やリスク・コミュニケーション活動等をおして村民の生活にどのような変化があったのかを伝えている（図10）。



図10 学習フィールド支援(知の拠点)

長崎大学では東電福島第一原発事故の反省から、放射線災害への危機管理ができ、かつ災害後の復興を支える人材の育成が必要であると考え、福島県立医科大学と共同で「災害・被ばく医療科学専攻（修士課程）」を設置し、2016年度より学生の受け入れを開始している。2017年からは川内村における実習として、食品放射能簡易検査場での測定・評価と住民との対話を通じてリスク・コミュニケーションの実際を学んでいる（図10）。

その他、北海道大学、東日本国際大学、東京医療保健大学、長岡技術科学大学、福井大学等、複数領域の学生が県内外から来村し学習フィールドとして活用しており、その際に講義や実習支援を行っている。

「長崎大学・川内村復興推進拠点」が、今後更に原子力災害からの復興や地域医療を学ぶ学生らが集まり、交流することができる「知の拠点」となることを目指していきたいと考えている。

また、若年層を含め幅広い世代の方の来村を目指した新たなイベントの開催も増加してきた。そこでイベント開催者と事前の放射能データの取得について協議したり、当日の来村者へ村内の放射線対策の状況やデータを基にした説明を実施し、村内外の方々に安心していただけるよう支援している。

7. さいごに

長崎大学・川内村復興推進拠点が開設されてから、多くの方々の支援をうけながら活動を継続している。村民と共に放射線と日常的に向き合う生活を送る中で信頼関係を構築していくと聞こえてくる声がある。その声を聞き洩

らさないようにしなければと深く心に期する。あきらめない・頑張らない・受容する困難さは、筆者が医療の臨床現場で患者さんと接する際に経験したと共通するところがある。ただ単に専門的な知見を分かり易く伝えるだけではなく、村民の方々が生きがいや誇りを取り戻し希望を持てるために、個々の状況に応じて変化するゴールをじっくり話しながら汲み取り、一步一步でもあせらず協働を進めていくことが大切だと感じている。

今後は、新たにコミュニティに加わる人々へも放射線についての情報を伝えることが必要となってくる。川内村に新たに転居や移住してくる住民への支援、工業団地等で事業を開始される企業の支援等、これまでの取り組みに加えて地域のつながりを活かした新たな取り組みを模索しながら、様々な課題に取り組み、放射線に関する健康リスク・コミュニケーションを始めとする復興・創生支援を継続していきたいと考える。村民の皆さまの温かいご協力とご支援に心から謝意を表すと共に、今後とも密に連携しながらの活動継続をしていきたい。

参考文献

- 1) 川瀬啓一、渡邊雅範、「歩行型放射線マッピング装置（ガンマプロットH）の開発と運用」, 第3回原発事故被災地域における放射線量マッピングに関する技術開発・運用とデータ解析に関する研究会, 2015, 11
- 2) 松浦俊也, 杉村乾, 「福島県東部と西部における福島第一原発事故後の天然山菜・きのこ等利用減少のアンケート調査」, 日本森林学会第128回全国大会, 2017, 3
- 3) 内藤航, 上坂元紀, 「個人線量と空間線量, 行動パターンとの関係」, Isotope News No.739, 2015, 11
- 4) 食品中の放射性物質検査データ <http://www.radioactivity-db.info/>
- 5) かかわりかえる会議報告書 平成29年 6 月 http://www.kawauchimura.jp/data/doc/1497857850_doc_10_0.pdf

著者プロフィール

北里大学衛生学部 産業衛生学科卒業
埼玉県立衛生短期大学 第一看護学科卒業
国際医療福祉大学大学院
医療福祉経営専攻（修士課程）修了
国際医療福祉大学大学院
保健医療学専攻（博士課程）満期退学
看護師として診療所・病院勤務後、2003年放射線医学総合研究所着任。画像医学部、分子イメージングセンター、企画部、安全・施設部、技術安全部を歴任し、RIの臨床利用や安全管理に携わる。2010年からは緊急被ばく医療支援チーム（REMATE）看護師を併任し、福島第一原子力発電所事故の際は3月12日朝に大熊町のオフサイトセンターに派遣され、現地支援を約100日間経験。2012年に環境省放射線健康管理担当参事官室放射線専門官、2014年に弘前大学大学院保健学研究科高度実践被ばく医療人材育成プロジェクト特任講師として出向。2016年5月より現職。

液体シンチレータ・フレキシブル 放射線検出器の開発の勧め



野村 貴美*

1. はじめに

2011. 3. 11の東日本大震災に伴う東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故により放射能が飛散し、土壌表面や森林、民家の屋根、雨樋などに広く汚染をもたらしました。放射能汚染物は、風雨にさらされて山の麓、側溝や排水溝、低地に流されて、狭いところで局所的に高い放射能汚染をもたらします。側溝、排水溝や排水管など特に狭隘な部分の測定においては従来の放射線測定器では対応ができず、現場での迅速な放射線測定が困難でした。また、一様な放射線場でないところで、どれだけの精度でその影響を反映するかなどの問題が提起されてきました。ここでは、フレキシブルな検出器がひとつあれば、精度はともかく、比較的簡単にいろいろな測定に対応できるのではないかと考えて、液体ライトガイドのコア液体に液体シンチレータを用いたフレキシブル放射線検出器の開発に取り組んでいます。今まで発表してきた件^[1-3]を簡単に紹介させていただきます。そして、このような検出器についての展望を概観してみたいと思います。

2. なぜフレキシブル検出器の開発か

放射線検出器が細くて長く、自由自在に曲げたりすることができるなら、検出器を狭隘

なところに挿入したり、また、生きた樹木や伐採した木材などの試料をできるだけ手を加えずに囲むだけで汚染の測定をしたりすることができます。穀物、野菜、食料品などにしても、定置型のGe半導体やNaIシンチレータの固体検出器で測定するためには、計りたい試料を持ち帰って、U8などの容器に均一に詰めるなどの試料調整が必要でしたが、フレキシブル検出器ならどこでも計ることが可能になります。たとえばフレキシブル検出器を円上に配置して計りたい試料を中心に置けば、比較的簡単にある程度の放射能を求めることができます。また、最近、頻繁に行われている原子力施設の改修や放射線施設の廃止において使用済み配管、埋設された配管や貯留槽、排水管などの汚染検査においてもフレキシブルな検出器であれば迅速に対応できます。このように多少精度が落ちたとしても、一台でいろいろな測定が可能になるフレキシブル検出器であれば、緊急時には、現場で迅速にその線量や放射能を把握することができます。

3. 以前にもフレキシブル検出器はなかったか

今までも放射線の位置を検出する方法としてシンチレーションファイバー利用した検出器が開発されてきました^[4]。ただ、ガラスシンチレーションファイバー (Atkinson LHL: Ce^{3+} ドープ SiO_2 : 1/e の減衰長がせいぜい 25cm)

* Kiyoshi NOMURA NPO法人放射線安全フォーラム 監事

やプラスチックシンチレーションファイバー (Bicron : BCF-10, 直径 : < 2 mm, 1/eの減衰長 : 150-200cm (1 cm⁰)) は、もともと細く、折れやすい、それ自体の検出率が小さいので、保護被覆された細いファイバーを何十から何百本も束ねて用いられます。被覆の占める部分も大きくなり、ケーブルが長くなると重く、一人ではハンドリングが難しくなります。検出光の減衰長が短いために光ファイバーとの組み合わせの工夫がされたようです。長いプラスチックシンチレーションファイバーの位置検出器は、ため池の水底の放射能分布の測定に利用されました^[5]。これは両端の光検出の時間差を利用して位置検出するので光電子増倍管 (PMT) が二本必要となり、狭隘な配管や排水管の検査には利用できません。それに比べて現在開発しているLSLGの検出器は、一本の光電子増倍管に接続する、簡単な構造であります。なお、配管の検査には、フレキシブルではありませんがプラスチックシンチレータ膜とコアライトガイドの組み合わせで減衰補正をした、長さ43cmの β 線検出器が製作されています^[6]。

4. 液体シンチレータを用いるフレキシブルライトガイド (LSLG) 検出器の特性は

液体シンチレータをコア液体としてフレキシブルなライトガイド (図1) を用いた放射線検出器を作製し、測定したパルス波高 (PHA) スペクトル (チャンネルは、エネルギーに相当) を図2に片対数で示します。これらPHAスペクトルは、¹³⁷Csのポイント γ 線源をLSLGの光電子増倍管 (PMT) のヘッドの位置からある距離に置いて測定したものです。このPHAスペクトルは、液体シンチレータを混ぜて β 線放出核種を測定する、

液体シンチレーションカウンターのものと似ていますが、 γ 線の場合にはコンプトン散乱電子を主に検出したことに因ります。PMTヘッドに近いところに γ 線源がある場合と線源を離して測定した場合ではPHAスペクトルは異なり、後者は減衰したスペクトルになります。これは、Lambert Beerの法則にもとづき、濃度一定のもとでは距離の長さ依存して、ある波長の光吸収が起きるためです。ただし、厳密には、LSLGの場合にクラッドの光の反射に伴い波長シフトが生じるので完全にこの法則に従うわけではありません^[7]。

ここでPHAスペクトル形状が大きく異なっていますが、90ch以上の全カウント数から求めた計数率は、あまり大きな違いはありません



図1 LSLGチューブ(長さ: 3 m、内部チューブの直径: 8 mm)。チューブの先端を光電子増倍管のヘッドに接続すれば放射線検出器になる。LED(波長 λ =375nm、1 mW)を照射すると波長 λ =420-450nmの発光が見られる。

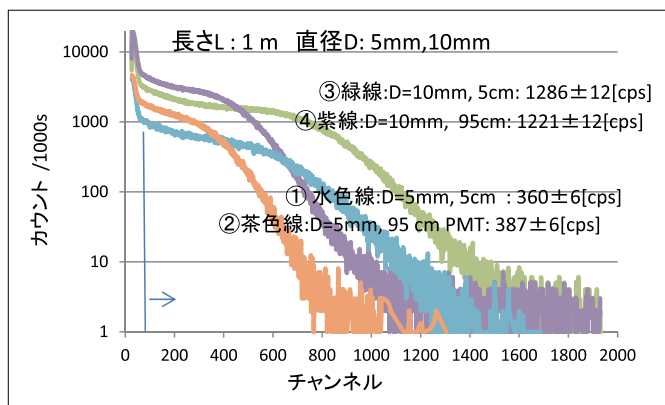


図2 太さの異なる液体シンチレータライトガイド (LSLG) 検出器のパルス波高 (PHA) スペクトル。線源の¹³⁷Cs : 220kBq、位置 : チューブの中心から1.5cm、光電子増倍管のヘッドからの距離 : 5 cm、95cm。表中の数値は、90ch以上のカウント数から算出した値。

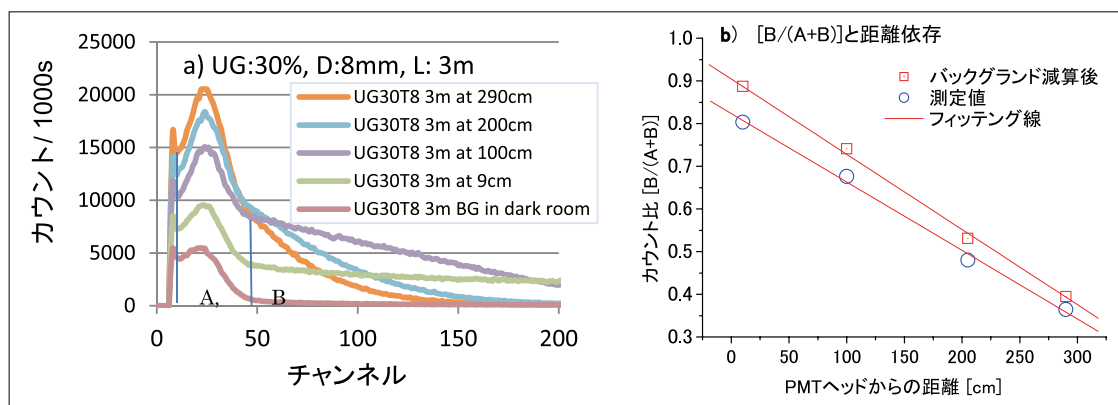


図3 a) ライトガイド内チューブの直径 8 mm、長さ 3 m の LSLG 検出器の PHA スペクトル。コア液体は液体シンチレータ (30% 希釈 UG) を使用。b) A、B のチャンネル領域のカウント比 $[B/(A+B)]$ と点線源の PMT からの距離との関係。

でした。また、コア液体のチューブの直径が 2 倍になると約 3.5 倍の検出効率の向上が認められました。なお、調整した液体シンチレータは、Butyl PBD+Bis-MSB を有機溶媒に溶かしたものです。もちろん、シンチレータの濃度が高くなれば、より大きな PHA スペクトルが得られ、PMT と点線源との距離による PHA スペクトルの減衰も大きくなります。最適な濃度は、フレキシブルチューブの長さ、太さにより変わります。逆に言えば、目的に応じて PHA スペクトルの減衰率を変えたものを簡単に作製することができます。

市販の液体シンチレータ (UG, UGF など) カクテルは、そのままでは光の減衰が大きいために、有機溶媒で希釈したものを用いました。UG カクテルを 30% 濃度にして、内部チューブの直径が 8 mm、長さ 3 m の LSLG を作製し、それで測定した PHA スペクトルが図 3 です。200 チャンネル以下の領域をリニアスケールで示してあります。低チャンネル領域においてピークが認められ、はじめ暗電流として無視していましたが、このピークを考慮して 2 つのチャンネル領域 (A, B) に分けて、そのカウント比 $[B/(A+B)]$ を点線源の PMT のヘッ

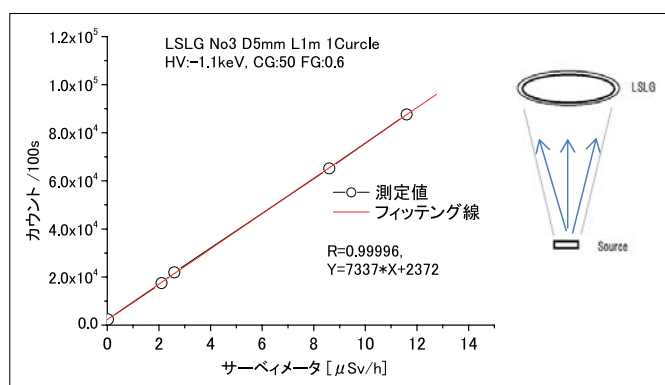


図4 サーベイメータ (ALOKA TCS-161 型 NaI (Ti)) と LSLG 検出器と計数率との関係 (直径 5 mm、長さ 1 m の LSLG を円状にして ^{137}Cs 線源との距離を変えて測定)

ドからの距離の関数としてプロットすると、図 4 のような直線が得られることが分かりました。バックグラウンドのカウントを減算したデータを用いて同様に求めると、より勾配の高い直線が得られました。これから一本の光電子増倍管でもどこに高い線量の線源があるかを推定することができます。いわゆる位置検出器として利用できます。

後から気がつきましたが、液体ライトガイドを用いて検出信号の時間差で中性子線の位置検出した報告がありました^[8]。ただ、その後はあまり検討されていなかったようです。

液体シンチレーションカウンターの温度ク

エンチングについては、たとえば0℃から30℃の温度変化に対してクエンチング率が約10%になることが報告されています^[9]。このような温度による影響は、シンチレータ濃度にも依存しますが、ここではチャンネル比を用いているので少なくなると考えられます。

図4は、直径5mm、長さ1mのLSLG検出器を円状に一巻きして、¹³⁷Cs線源の距離を変えながら測定したものです。PHAスペクトルでは、図1のLSLGのライトガイド上で線源の位置を変えながら測定したスペクトルの平均的なスペクトルが得られますが、LSLG検出器のカウント率は、市販NaI (Tl) シンチレーションサーベイメータの測定線量率と関連していることが分かります。空間線量率計としても使えます。

液体シンチレータの発光寿命は、約数ナノ秒 (ns) で、他の固体シンチレータに比べても短いので、高い計数率の放射線測定が可能になり、測定範囲も広がります。液体ライトガイドの光の透過率の損失は、Co-60のγ線照射による吸収線量2.5kGyまでないことが確かめられています。因みにプラスチックファイバーの光透過率は、2.5kGyで約90%まで減少します^[10]。原子炉内では、固体検出器は、シンチレータそのものと電子回路部も放射線損傷を受けやすいのに対してLSLGは、放射線による劣化も少なく、電子回路部とLSLG検出部の間の距離が長く取れるために電子回路部の損傷を比較的避けられます。

5. どのような応用が考えられるか

今まで計測しにくかった部分や測定対象物を非破壊で迅速に測定するためには、フレキシブル検出器の開発が重要です。数メートルの長さの新しいフレキシブルな検出器を開発し、それを現場での測定に供することが当面の目標です。前にも述べたように、この検出器を筒に巻き付けて、計りたい食品や物品など

を筒にいれれば、そのままの状態で放射線を測定して放射能も推定することができます。また、今まで計れなかった狭い隙間や排水管、埋設管などにLSLGチューブを差し込むことによって汚染検査が可能になります。

この検出器のさらなる応用としては、面上にフレキシブルなチューブを並べた検出器にするか、座布団のような検出器にすれば、汚染が疑われる動物、家畜や野生動物の体表面の測定が可能になります。つまり静止が難しい家畜・動物の背中に載せたり、測定したい部位に装着したりすることができるでしょう。チョッキ型フレキシブルな面検出器にすれば、体を静止しなくても装着したままで線量率の測定から体内汚染の様子が推定できるようになります。大がかりなホールボディカウンターに比べれば、低コストで作製できるはずです。ホールボディの遮蔽体について気になりますが、測定する部屋であらかじめバックグラウンド (BG) を計り、それを記憶させておいて、被験者を測定するたびに、そのBGを減算すれば対応ができます。

一方、原子炉や加速器施設の中性子が発生するところでは、中性子検出用LSLGも可能です。厚めのチョッキ型面検出器を装着すれば、中性子の防護服としての機能も兼ね備えたものにもなり、緊急時の不均一な放射線場においては、広い面で測定するので小さな個人線量素子に比べ、より安心感が得られるはずです。このようにLSLGの放射線検出器に端を発してさまざまな応用が考えられます。

6. 放射線防護のための線量計から人体組織等価の吸収線量計へ

ところで、放射線影響を評価するためには、人体組織に等価なもので吸収線量を直接測定できる検出器が理想と考えられます。今までの固体シンチレーションサーベイメータは、放射線エネルギーに応じた検出効率曲線から

シミュレーションによって物質の吸収線量に対応するように校正されてきました。現在使用されているシーベルトの単位は、人体組織等価のICRU球における1 cm深さの最大値をもって1 cm線量当量としたものであり、人体組織の吸収線量を直接求めたものではありません。シーベルトは、もともと放射線の影響を表す単位ではなく、防護の目安を表す単位です^[11]。人体は、約65%が水で構成されているので、液体シンチレータのフレキシブルな放射線検出器は、人体組織等価に近いためにその吸収線量を直接求める方法につながり、従来の間接的な評価方法を検証することでもできると考えられます。

7. おわりに

福島第一原子力発電所の事故以前は、不均一な放射線場における吸収線量を評価することは、あまり考えられていませんでした。まして吸収体も必ずしも一定な大きさや形をしているわけではありません。液体シンチレータを用いたフレキシブルな検出器なら、それに対応させることができます。また液体シンチレータ・フレキシブル検出器を比較的簡単に疑似臓器の形にしたり、さまざまな人体等価の形状にしたりすることで、吸収線量を実験的に評価することが可能になります。これを実現するためには、さらに様々な形状の検出器を作り、外部放射線に対する吸収特性を明らかにする必要があります。今後、その開発に多くの研究者や技術者の協力が得られることを期待しています。

謝 辞

LSLG検出器の放射線測定においてご協力いただいた産業総合技術研究所放射能中性子標準研究グループ柚木彰グループ長、東京医科歯科大学原正幸准教授、著者の旧所属の東

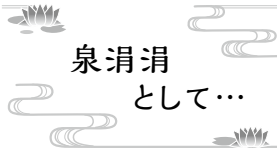
京大学大学院工学系研究科の放射線管理室長寺井隆幸教授ならびに放射線計測専門の高橋浩之教授に謝意を表します。また、液体ライトガイドチューブを作製する機会を与えてくださった東京理科大学の藤嶋昭学長、同大学光触媒国際研究センター・U-VIX(株)の森戸祐幸客員教授、細田和夫技術部長に感謝します。

参考文献

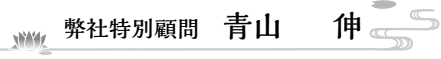
- 1) 野村貴美ら, 放射化学討論会要旨集 2A08, 新潟大学 (2016.9.11)
- 2) 野村貴美ら, 日本放射線安全管理学会要旨集 1B1-1, 岡山大学 (2016.11.30)
- 3) K. Nomura et al., Proceeding of the 12th International Workshop on Ionizing Radiation Monitoring, p-22, Hosoda Hall, Oarai, Dec, 3-4, 2016.
- 4) 中沢正治, 光技術を用いた放射線計測 (総説), RADIOISOTOPES, 43 (1994) 423-431.
- 5) 眞田幸尚ら, 「水底のin-situ放射線分布測定手法の開発」, JAEA-Research 2014-005 (2014)
- 6) T. Maekawa, et al., J. Nucl. Sci. Tech., 48, (2011) 50-59.
- 7) 野村貴美ら, 第54回アイソトープ・放射線発表会要旨集2a-III-08 東京大学農学部 (2017. 7. 6)
- 8) M. Hayashi et al. J. Nucl. Sc. Tec., Suppl. 6, (2008) 81-84.
- 9) 加藤隆久, RADIOISOTOPES, 52, (2003) 335-339
- 10) J. Wakabayashi et al., Nuclear Science Symposium Conference Record, 2004 IEEE, 16-22 Oct. 2004
- 11) 多田順一郎, FBNews10月号 (2017) 9-13

著者プロフィール

1952年生まれ。福島県立安積高校卒、横浜国立大学大学院工学研究科修士課程修了、東京大学工学部助手(放射線管理室)、東京大学工学博士、ドイツ・ローゼンドルフ研究所、ハンガリー・エートベス大学核化学教室および米国・ドレックセル大学化学教室(A. Nath教授)客員研究員、東京大学大学院工学系研究科助教授(応用化学専攻兼任)、准教授、特任准教授を経て2013年満期退職。現在、明治大学兼任講師、東京理科大非常勤講師、首都大学東京客員准教授、日本放射線安全管理学会顧問、NPO法人放射線安全フォーラム監事
e-mail: dqf10204@nifty.com


 泉涓涓
として…

原子力艦事始め (その3)

 弊社特別顧問 青山 伸
 

1947年当時、原子力の開発は、なかなか本格化しなかった。1月に陸軍からマンハッタン計画を引き継ぎ、原子力のすべてを担当した米国原子力委員会(AEC)では、スタッフの数と質が不十分で柔軟に機能しなかった。実際、AECの決定に強い影響力を持っていた総務諮問委員会(General Advisory Committee:当初メンバーには、ジュリアス・オッペンハイマー、ジェームズ・コナント、エンリコ・フェルミ、イジドル・ラービらがいた。)は、1947年11月に、実用炉の実現には20年程かかり海軍の潜水艦計画は未成熟だとして、AECの関係者で原子炉開発グループを構成し、検討することを提案し、AECは、これを追認していた。

様々な提案のあった原子炉の型式について、並行した研究がそのまま続けられた。海軍においてもジェネラル・エレクトリック社(GE)が追求していたナトリウム冷却システムに研究資金を提供していた。原子炉開発グループでは、海軍艦船局長ミルズ提督から原子力潜水艦構想を、空軍の研究開発責任者ローレンス・クレイギー大將から原子力航空機構想を聴き、検討した結果、空軍についてはさらに調査を、海軍については高いプライオリティで望むべきとの結論を得た。その後、オークリッジのクリントン研究所でダニエルズ炉の研究開発が成果を出せない中、原子炉の研究はシカゴパイルに参加していたウォルター・ジン率いるアルゴンヌ研究所に集約され、基礎的な研究が進められた。

それでもクリントンの若手物理学者のリーダーであったアルビン・ワインバーグが加圧水を核反応の緩衝材・熱媒体に使うという構想を1946年に文書で明らかにしていたことが道を拓いた。原子力潜水艦の実現にかけていたリコーヴァー大佐が、水の利用を気に入りダニエルズ炉の技術者たちを説得して、加圧水炉の可能性追求に非公式に着手したのである。あとは、

独立した開発プロジェクトに仕立てることだが、これには壮大な仕掛けが必要だった。軍の艦船を実現するには海軍が責任を持って開発を進めなければならないが、原子力のすべてを握るAECは、軍との連絡会議は持つものの共同作業は認めなかった。リコーヴァー大佐は、AECに対し、艦船局長ミルズ提督に加え、作戦部長チェスター・ニミッツ元帥、ジョン・サリバン海軍長官、ジェームズ・フォレストル国防長官からも原子力潜水艦が早急に必要との意図表明を得たが、事態は明瞭な展開を見せなかった。

AECが1948年4月27日に、原子力潜水艦プロジェクトの重要性に鑑み、海軍の努力は高いプライオリティをもって実行される、との意思を海軍に伝え、プロジェクトの具体化がようやく少しづつ進み始めた。5月には、リコーヴァー大佐を含む海軍の一行がアルゴンヌ研究所を訪ね、プロジェクトにおける研究所と海軍の役割分担、産業界の参加について議論を始めた。商用発電を目指していたGEの液体金属冷却炉研究に潜水艦炉を加えるか或いは潜水艦炉へ方針変更させること、ウェスティングハウス社(WH)を加圧水炉システムの研究に巻き込むことなどが課題となり、実現への努力が続けられた。この間7月16日に、ミルズ提督は、リコーヴァー大佐に艦船局の原子炉責任者を命じ、AECへのリエゾンとした。12月10日には、AECがWHと地上で潜水艦用の原型炉(プロトタイプ) Mark Iを建設する契約を締結した。また、1949年1月16日には、AECでの原子炉開発責任者にミルズ提督の信任も厚いローレンス・ハフスタッドが就き、リコーヴァー大佐のグループは、その海軍炉部門となった。

ソ連海軍が、ドイツの潜水艦技術を吸収して大規模な艦隊を編成するなどの脅威も手伝って、原子力潜水艦の早期実現が求められた。

ガンマ・キャッチャーを用いた 医療用サイクロトン放射化領域の可視化の試み

赤平 秀昭*¹・佐々木泰輔*²・松尾 国弘*³・淀野 啓*⁴

1. はじめに

医療用小型サイクロトン装置（以下、サイクロトン）を設置し、PET用放射性同位元素を製造する施設においては、放射線業務従事者の始業前点検や外部業者によるトラブル対応あるいは保守点検業務等により、サイクロトン室へ入室せざるをえない状況が生じる。サイクロトンは加速エネルギーが2.5MeV以上で放射化が生じるとされ、また10MeV程度になると、加速粒子の影響による(p,n)反応が起こり、同時に中性子も放出されることが知られている¹⁾。したがって、このような状況における放射線防護の策定では、サイクロトン室での線量分布の実態を把握することが重要である。しかしながら、サーベイメータによる空間線量率測定では、広範囲からの入射放射線による影響や対象物に接近した高線量箇所での直接測定あるいは遮へい体の使用などにより、測定が困難であるのみならず、むしろ新たな被ばくの原因に成り得る可能性がある。

ガンマ・キャッチャーは、遠隔的に放射性物質の分布状態を可視化することができる装置である。我々は、この装置を用いてサイクロトン室の放射化領域を可視化することを試みた。また、この可視化情報が被ばく線量の低減策に有効か否かについても検討した。

2. サイクロトンおよびその概要

対象となる当施設のサイクロトンはGE社製のPET trace（図1）で、ターゲットおよびマグネットコイルの一部が露出する非自己遮へい型である。主な仕様としては、最大加速エネルギー16.5MeVおよび最大平均電流値80 μ Aで、加速粒子は陽子である。製造核種は平均電流値30 μ Aの種々の状態において(p,n)反応による¹⁸Fを限定し製造している。なお、総運転時間は約1,290時間である。

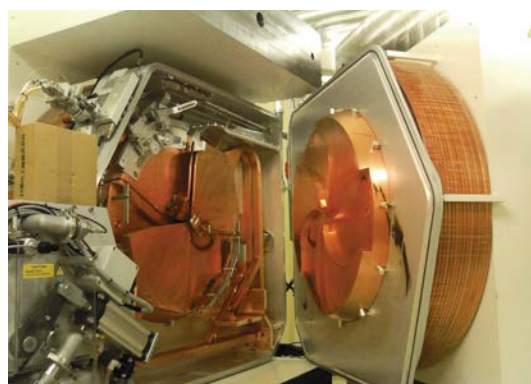


図1 非自己遮へい型PET trace (GE社製)
マグネットヨークを開けた状態。

3. ガンマ・キャッチャーの特徴と仕様(表1)

ガンマ・キャッチャーは、除染作業の効率化に役立てるため、放射性物質の分布画像を提

*¹ Hideaki AKAHIRA あおもりPET画像診断センター 技師長

*² Taisuke SASAKI 〃 院長

*³ Kunihiro MATSUO 鳴海病院 放射線科 医療局長

*⁴ Hiraku YODONO 〃 院長

表1 ガンマ・キャッチャーの機器仕様

本体外形寸法	138×150×150mm
重量	約2kg(計測部本体)
本体電源	PCよりUSB給電
PC電源	AC/内蔵バッテリー(約3時間)
シンチレータ	散乱体: 24×24×5mm×4 吸収体: 24×24×10mm×4
検出素子	高感度半導体検出素子
エネルギー範囲	30keV～1.5MeV
エネルギー分解能	15% (^{137}Cs 662keV)
視野角	140°
角度分解能	14°

示する目的で開発された千代田テクノル社製のハンディ型ガンマ線可視化装置である²⁾。コンプトン散乱を利用した本装置は、ガンマ線の散乱および吸収による位置情報と各検出器に付与されるエネルギーから、ガンマ線の入射エネルギーおよび飛来方向が特定できる。更に、測定対象物を光学カメラにより撮影した視野角約140°の画像上に、ガンマ・キャッチャーで測定した放射性物質の分布を投射し、その強度を多寡の色合いにより表示できるなどの特徴が挙げられる。

4. 調査方法

サイクロトロンの定期点検および点検前後の各1週間(平成29年6月)において、ガンマ・キャッチャーによるサイクロトロン本体室(図2)を測定し、放射化領域での可視化の画像状況を比較検討した。また、可視化情報が被ばく線量に及ぼす影響について検討する目

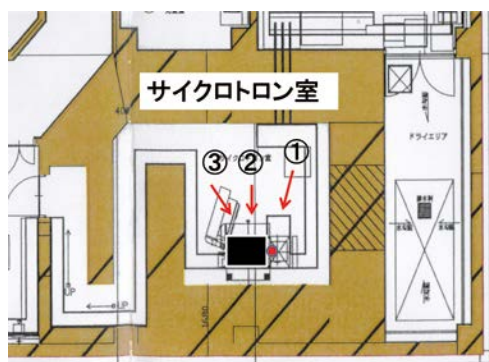


図2 サイクロトロン本体室と測定方向

赤丸はターゲット、黒枠は本体の位置を示し、①、②および③は測定方向を表す。

的で、点検業務に携わる外部業者(男性4名:登録業務従事者)の実効線量を算出(ポケット線量計:アロカ社、PDM-112)し、過去3年間における実効線量と対比した。診療放射線技師3名(男性2名および女性1名)による始業前点検には、O-18ターゲット水の

残量確認、廃ガス回収装置の排気とヘリウムガスおよび水素ガスの設定値の確認などがあり、これらの点検に要する約2分間の実効線量を算出(ポケット線量計:アロカ社、PDM-112)した。測定は残存放射能を考慮して、始業前点検では運転日翌日とし、定期点検では運転停止日の3日後より実施した。

ガンマ・キャッチャーの測定は、対象物との水平距離1～1.5mおよび高さ1mの位置(図3)において、測定時間を約20分間にしたが、選別データ総数としては、ある程度の信頼度が得られる画像である1,000イベントを超えた時点で停止した。また、描画対象核種とそのエネルギー幅については、F-18(515-485keV)、Co-56(855-825keV、1240-1210keV)およびCo-58(815-785keV)のガンマ線とし、描画表示にはAuto Scaleを用いた。更に、点検前後の対比では、Manual Scaleにより再描画処理を施した。なお、ガンマ・キャッチャー測定の際には、並行してNaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ(アロカ社、TCS-172)および電離箱式サーベイメータ(アロカ社、ICS-321)による表面線量率測定を行い、測定値を確認した。

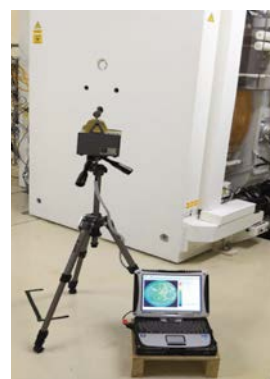


図3 ガンマ・キャッチャーによる測定風景

5. 測定事例

(1) 点検前後におけるターゲットの比較

(図2①、図4a、4b)

約6ヵ月間使用しているターゲットとその周辺における可視化した画像状況を示す(図4a)。測定時間は400秒であったが、選別データ総数

が1,000イベントを超えたため、測定を停止した際の事例である。ガンマ・キャッチャーによる可視化では、顕著な放射化領域を示す色彩がターゲットに見られ、サーベイメータによる表面線量率は1.8mSv/hであった。ターゲットクリーニング後、約1ヵ月間程度冷却し装着した点検後のターゲット（図4b）と点検前

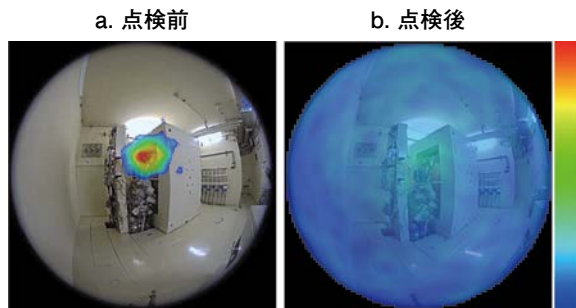


図4 点検前後におけるターゲットの比較。

点検前では放射化による顕著なホットスポット(1.8mSv/h)が識別された(a)。点検後のターゲット(110 μ Sv/h)をManual Scaleで描画し対比したところ、ほぼ均一な青色が見られた(b)。

a. 光学カメラ：魚眼レンズ

b. 点検前

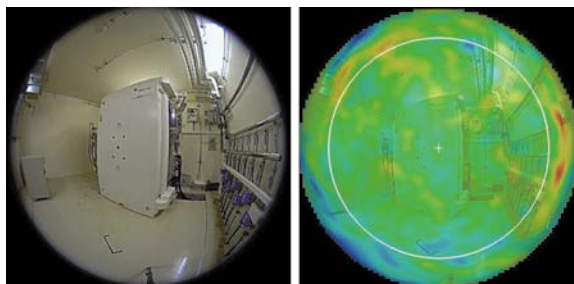


図5 本体と床、壁および天井(a)の放射化の可視化
点検前は全体的(1.2~5.4 μ Sv/h)に淡い色彩を示した(b)。また、描画領域周辺にはアーチファクトがみられた。

(図4a)のターゲットを対比したところ、点検後のManual Scaleでは、ほぼ均一な青色を呈した。この時の表面線量率は110 μ Sv/hであった。

(2) 本体と床、壁および天井の測定

(図2③、図5b)

放射化による影響を考慮しターゲットを外して測定したところ、全体的に淡い色彩を示した。TCS-172による測定では表面線量率は1.2~5.4 μ Sv/hで、B.Gは本体室の迷路において0.04 μ Sv/hであった。また、描画領域周辺では円弧状のアーチファクトがみられた。

(3) 本体内部の測定 (図2②、図6b、6c)

ターゲットを外した本体内部の測定では、コリメータおよびエクストラクションフォイル(カルーセル)部分に放射化領域を示す顕著な色彩が認められた(図6b)。また、カルーセルを外してManual Scaleでの描画と対比したところ、点検前よりも強度の低い色彩を呈し差異が認められた(図6c)。内部周辺の表面線量率は5~10 μ Sv/hであった。なお、放射化位置と顕著な色彩位置に若干のずれが認められるが、これは魚眼レンズとガンマ・キャッチャー測定部が数cm離れた位置であるため、測定対象物に接近して測定する場合には避けられない事象である。

(4) 外部業者および診療放射線技師と

実効線量(表2、3)

外部業者の今回(平成29年6月)と過去3年間(平成26年、27年および28年5月)の実効線量を対比したところ、今回は明らかに低値となっていた(表2)。ただし、今回のビーム

a. 光学カメラ

b. 作業前

c. カルーセル着脱後

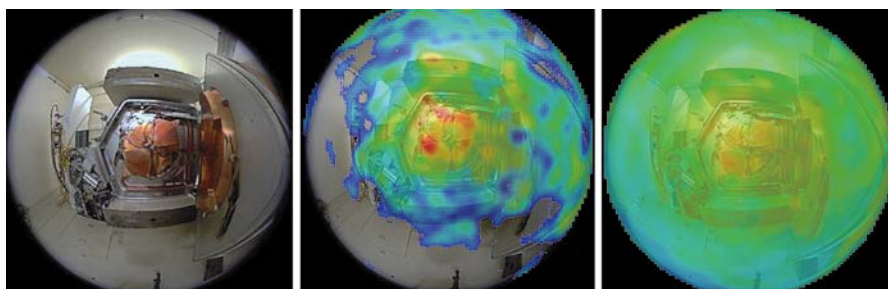


図6 本体内部(a)の放射化の可視化。

点検前のコリメータおよびエクストラクションフォイル部分に、顕著な色彩が見られた(b)が、外してManual Scaleで対比したところ(c)、その違いが表示できた。内部の表面線量率は5~10 μ Sv/hであった。

表2 外部業者と実効線量

	平成26年5月	平成27年5月	平成28年5月	平成29年5月
総線量(μSv)	195	413	181	73
作業日数(日)	7	6	7	5
作業人数(人)	2	3	2	4
平均線量 (日・人等)	14.0	23	12.9	3.7

表3 診療放射線技師と実効線量

	サイクロトロン始業前点検	
	定期点検前	定期点検後
診療放射線技師男性(1)	0 μSv (2回)	0 μSv (2回)
診療放射線技師男性(2)	0 μSv (1回)	0 μSv (2回)
診療放射線技師女性	0 μSv (2回)	0 μSv (1回)
計	0 μSv (5回)	0 μSv (5回)

引出し効率とペーパーバーンについては、一度の作業で調整および確認できたことが報告された。診療放射線技師では、いずれの場合にも実効線量が算出されなかった(表3)。

6. 考 察

ガンマ・キャッチャーによる放射化領域の可視化は、イベントに対するコンプトン散乱角と散乱体および吸収体の反応情報から線源が存在しうる円錐領域、すなわちコンプトンコーンを逆投影し、その重ね合わせから放射線源の位置を特定し画像化する方法である。このため、ガンマ・キャッチャーで画像化するには測定開始前に測定対象とするガンマ線を、あらかじめ選定しておく必要がある。描画に寄与するエネルギーとしては、得られる散乱体および吸収体の全エネルギー分布上において、選定した核種のエネルギー分布との重なり合った箇所となる(図7)。今回の検討では加速粒子による核反応例¹⁾を参照し、2種類の生成核種(Co-56およびCo-58)と残存放射能核種(F-18)の3核種を選定することにした。

直接陽子に照射されるターゲットボックス内のハーバーフォイルは、高レベルに放射化されることが知られている。ガンマ・キャッチャーによる測定においても、放射化位置と色彩位置にずれはあるも、明瞭に識別されたホットスポットが示され、遠隔的に可視化することが可能であった。¹⁸O(p,n)¹⁸Fの反応で、二次的に発生

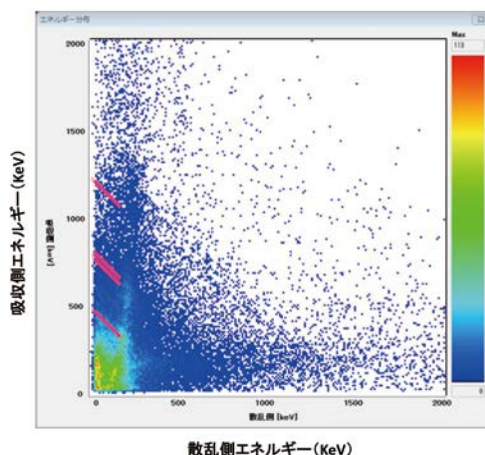


図7 散乱体および吸収体のエネルギー分布図
重なり合ったピンクの分布箇所は、描画に寄与するエネルギー範囲を示す。

する中性子はサイクロトロン本体や室内の床、壁および天井のコンクリートなどに放射化をもたすと考えられている¹⁾。今回の可視化(図5b)では加速粒子による生成核種を対象としたが、今後は熱中性子によって生成されるCo-60およびEu-152などのガンマ線による放射化領域についても検討したいと考えている。

円弧状のアーチファクト(図5b)の要因については、線量率が比較的高い箇所の測定では、散乱体と吸収体に異なるイベントが偶発同時計数され、放射線源のない位置にコンプトンコーンが描画されることが発生理由と考えられる。しかし今回は、描画領域周辺に発生し、表面線量率が1.2~5.4 $\mu\text{Sv/h}$ と幾分低値であったことより、周辺から到達する放射線の量に差がないためと考えられた。つまり同時計数されたイベントが描画に寄与する領域内に集中するのではなく、周辺部に均等に分布した一部が偶発的に描画されたことが要因と推測された。ただし、この点についてはなお検討が必要と考えている。

対比におけるManual Scaleについてであるが、描画の際には、コンプトンコーンの重ね合わせ度合をピクセル毎に測定し、最大値100%(赤色)から最小値0%(青色)の放射線分布を多寡の色合いで表示するAuto Scaleを用いる。一方、対比する場合には、基準となる点検前の測定データから重ね合わせ度合いの最大値を

閾値として設定するManual Scaleを用いた。点検前後のターゲットを対比してみると（図4）、点検後では、均一な青色で示され、描画データの最大値は閾値よりも低いことが判った。また、図6では、点検前とカラーセル着脱後との対比において放射化領域に差異が認められた。

サイクロトロン内部の表面線量率が最も高かったのはエクストラクションフォイルで、次いでコリメータ、ディ電極およびイオンソースの順であったが、可視化では、これらを包括的に把握することができた。さらにエクストラクションフォイル（カラーセル）着脱後の対比では、線量分布の差異が示され、ガンマ・キャッチャーによるサイクロトロン放射化領域の可視化の可能性が示唆された。

点検作業を行なう外部業者にサイクロトロン内部の可視化情報を提供することで、被ばく線量の低減が可能か否か検討したところ、実効線量は低値を示し、過去3年間との対比でも低値であった。この要因としては、ビーム引出し効率調整およびペーパーバーンによる位置確認を一作業で終えたこと、従事者が経験豊富であったこと、および可視化情報により被ばくに対する強い意識が持たれたことなどが推測された。なお、今回と過去3年間における本体室の空間線量率は、外部業者の測定値を参考に検討したところ、ほぼ同等とみなすことができた。また、平成27年の実効線量では、前後の年に比し倍増していたが、これについてはビーム引出し効率調整においてマグネットヨークを開閉する回数が増えたことにより、高値となった可能性が推測された。診療放射線技師における実効線量測定については、先に我々は、D-シャトルのトレンド機能を用いた被ばく要因分析について検討し、サイクロトロン運転時における始業前点検での被ばく線量が低値であることを報告した³⁾。今回の作業動線および待避場所における描画においても、淡い色彩が認められたことから、可視化の信頼性が確認されたものと推測した。

7. 結 語

ガンマ・キャッチャーを医療用小型サイクロ

トロンに応用し、加速粒子による放射化領域の可視化を試みた。

ターゲットの可視化は、点検前では放射化によるホットスポットとして識別され、点検後との対比からは、線量分布の差異が認められた。サイクロトロン内部の描画では放射化領域を包括的に把握することができた。また、可視化情報の提供は従事者の被ばく線量低減策に有効であった。これらのことから、ガンマ・キャッチャーによるサイクロトロンの放射化の可視化は、放射化領域を把握する上で有用であると考えられた。

謝 辞

本研究に際し、貴重な助言をいただきました株式会社千代田テクノル小澤慎吾氏に深謝いたします。

参考文献

- 1) 学術交流委員会報告, PET核種製造用サイクロトロン利用に伴う放射化物の管理について(平成24年度)
- 2) 株式会社千代田テクノル原子力事業本部, ガンマ・キャッチャーの開発と実用化について, FBNews, No473, 13-16 (2016.5)
- 3) 赤平秀昭他, D-シャトルを用いた18F-FDG/PET検査における従事者の被ばく要因分析の試み—トレンド機能による検討—, FBNews, No.482, 6-10 (2017.2)

著者プロフィール



赤平 秀昭

1958年青森県生まれ。

公益財団法人鷹揚郷腎研究所弘前病院放射線科勤務の後、2005年より一般財団法人医療

と育成のための研究所清明会あおもりPET画像診断センター勤務。放射線部技師長として現在に至る。専ら、サイクロトロンの交通安全祈願とFDG合成後の合格祈願をすると共に、主任者として放射線管理およびPET検査に従事。

主な資格および認定、第一種放射線取扱主任者、第一種作業環境測定士（放射性物質）、核医学専門技師、医学物理士。

サービス部門からお願い

ガラスバッジを使用しなかったのに報告書が送られてきた?!

平素は弊社モニタリングサービスをご利用くださりまして、誠にありがとうございます。

測定センターでは、ガラスバッジご返却の際の「測定依頼票」や「ご使用者変更連絡票」にお

記入事項	報告書
未使用	発行されます 「未使用」という証明の報告書が出ます
休止 一回休止	発行されません

客様がご記入された内容に従い、ご使用者情報のメンテナンス処理を行っています。

ご返却いただいたガラスバッジを測定し、「未使用」とご記入があった場合は、「未使用」という表示の報告書を出力いたします。

「連続休止」・「一回休止」とご記入があった場合は、報告書は出力いたしません。



ご使用されなかったガラスバッジについて、「測定依頼票」や「ご使用者変更連絡票」に「未使用」・「連続休止」・「一回休止」などを、明確にご記入くださいますようお願い申し上げます。

編集後記

- 新春のお喜びを申し上げます。あらためまして皆様のご健康とご多幸をお祈り申し上げます。
- 新春号では、長崎大学医学部保健学科の福島芳子先生に、福島県川内村との復興推進活動を通じて、川内村の現在の状況についても執筆いただきました。今年3月で7年となりますが、人口も8割に戻り村として新しく復興され明るい希望を実感いたしました。これまでの長年にわたる村長様と村役場の方々の熱意とそのご努力にあらためて感服する次第です。それぞれの地域に対してたくさんの支援が今でもなされていますが、中でも川内村は長崎大学が密接に連携され、復旧・復興に力強く支援されている姿は頭が下がるばかりです。今後の人口増加と村の益々の発展と活性化を祈念し、東京オリンピックでは是非この地域で生産されたワインを楽しみにしたいと思っています。
- NPO法人放射線安全フォーラム監事の野村貴美先生には、液体シンチレータによる放射線検出器の開発についてご紹介いただきました。フレキシブルチューブの形状で評価された結果のご報告によれば、たとえば人体の臓器の形状

として吸収線量を実験的に評価することも可能など、今後の応用技術開発が大変興味深いと思いました。

- γ線の可視化システム「ガンマ・キャッチャー」を使った医療用サイクロトロン放射化の状態の確認について、あおもりPET画像診断センター技師長の赤平秀昭先生、他3名の皆様に実際に試していただいた結果をご紹介いただきました。ガンマ・キャッチャーは線量を測定するものではありませんが、狙いどおりホットスポットが可視化で認識され、全体の放射化領域も包括的に把握することができ、従事者の被ばく線量低減に有効な情報となることがわかりました。そもそも福島県の放射能汚染の除染作業のために開発したものではありませんが、このようなかたちで皆様に貢献できる可能性があることは嬉しい限りです。
- 今年は創刊500号を迎えることとなり、同時に日本の個人線量測定や放射線防護の長い歴史を感じます。編集委員一同これからもより一層皆様のお役に立つ情報を提供させていただき所存でございます。本年もどうぞよろしくお願い申し上げます。(今井 盟)

FBNews No.493

発行日/平成30年1月1日

発行人/山口和彦

編集委員/今井盟 新田浩 中村尚司 金子正人 加藤和明 青山伸 河村弘

谷口和史 岩井淳 川口桃子 小口靖弘 佐藤大介 高橋英典 和田卓久

発行所/株式会社千代田テクノ

所在地/〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル

電話/03-3816-5210 FAX/03-5803-4890

http://www.c-technol.co.jp/

印刷/株式会社テクノサポートシステム

—禁無断転載— 定価400円(本体371円)